

SISTEM PENGONTROLAN TEMPERATUR ON-OFF MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER AT89C51 DENGAN PENGINDERA TERMOKOPEL

Syufrawardi, Yohandri dan Asrizal ^{*)}

ABSTRACT

Temperature control system was an important instrument to control temperature of an object at setpoint temperature and many applications in human life. Investigation of control system was required to get high quality of system. Purposes of this research was: to investigate relation between output voltage of sensor and signal processing circuits with temperature, to determine number that presented at digital display as function of temperature, and to determine accuracy and precision of temperature control system. The research can be classified into laboratory experimental research. Data collecting technique that used in this research was direct measurement. Variables that measured temperature, output voltage of sensor, and output voltage of amplifier circuits, while gradient of straight line and static characteristics were measured indirectly. The data that founded of measurement result was analyzed by using graph and error analysis. Graph analysis was used to determine measurement error, accuracy, and precision of control system. There were four main results of this research as follow: 1). Output voltage of sensor increase directly proportional with temperature and sensitivity of sensor was $0,042 \text{ Volt}^{\circ}\text{C}$, 2). Output voltage of differential and non inverting amplifier also directly proportional with temperature, each of it's gradient was $0,0091 \text{ Volt}^{\circ}\text{C}$ and $0,0248 \text{ V}^{\circ}\text{C}$, 3). The number that displayed at seven segment before linearization process directly proportional with temperature and after processing the number at digital display was suitable with temperature that measured by standard digital thermometer, and 4). The average of accuracy and precision of temperature control system by using microcontroller with thermocouple sensing was high, each of it was $0,9967$ and $0,997$ in order of least significant scale was 1°C .

Key words : Control system, thermocouple, microcontroller, sensitivity, accuracy, precision.

^{*)} Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang, email: yohandri@fmipa.unp.ac.id

PENDAHULUAN

Temperatur merupakan suatu parameter fisika yang sering diukur dan penting karena diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti rekayasa, ilmiah, atau aplikasi industri (Carr, J.J, 1993). Pendapat senada juga dikemukakan oleh Ball, S (2002) yang mengatakan bahwa "Temperatur adalah suatu karakteristik dari dunia nyata dimana sistem perlu untuk mengukurnya. Beberapa industri mulai dari pabrik baja sampai fabrikasi semikonduktor tergantung pada temperatur". Hal ini dapat dipercaya karena begitu banyak sistem fisika, elektronika, kimia dan biologi dipengaruhi oleh temperatur. Dengan begitu banyaknya pengaruh temperatur

dalam aplikasi nyata maka tidak diragukan lagi suatu sistem pengontrolan temperatur penting untuk dikembangkan.

Sistem pengontrolan temperatur memegang peranan penting untuk mengendalikan temperatur pada suatu level yang diinginkan. Sistem kendali atau *control system* adalah susunan komponen fisika yang dihubungkan sedemikian rupa sehingga membentuk suatu kesatuan utuh yang fungsinya untuk mengatur, memerintah sistem itu sendiri atau sistem lainnya (Imam, M: 1995). Sesuai dengan namanya suatu instrumen yang digunakan untuk mengontrol temperatur. Pengontrol temperatur mengambil input dari suatu sensor temperatur dan mempunyai suatu output yang dihubungkan

pada suatu elemen kontrol seperti pemanas atau fan (Anonim:2006).

Suatu pengontrol on-off adalah bentuk yang sederhana dari piranti pengontrol temperatur. Output dari piranti salah-satu dari on atau off, tanpa ada keadaan pertengahan. Pengontrol on-off akan mengalihkan output hanya bila temperatur menyeberang titik set (setpoint). Untuk kontrol pemanas, output on bila temperatur dibawah titik set, dan off bila temperatur di atas titik set. Suatu contoh kontrol on-off yang sering digunakan secara domestik adalah termostat. Bila oven lebih dingin dari temperatur titik set maka pemanas dikembalikan pada daya maksimum, dan bila oven lebih panas dari temperatur titik set maka pemanas dialihkan ke keadaan off (William, C.D.H). Dengan kata lain suatu bagian set mengendalikan sinyal pada nilai maksimumnya bila plan berkurang aktivitasnya, dan nilainya maksimum bila plan bertambah aktivitasnya. Strategi ini disebut kontrol on-off (Barr, M: 2002). Plant dari suatu sistem kontrol merupakan bagian dari sistem yang akan dikontrol.

Untuk mengindera temperatur pada sistem kontrol diperlukan suatu sensor. Salah-satu sensor temperatur yang cukup populer, mempunyai jangkauan temperatur dan linear adalah sensor termokopel. Termokopel adalah suatu piranti dua kawat yang disusun dari logam yang tidak sama atau campuran logam yang disambung pada salah satu sisinya (Tompkin, W.J: 1992).

Prinsip kerja dari termokopel didasarkan pada efek *Seeback* yaitu suatu perbedaan potensial akan terjadi jika material homogen mempunyai mobilitas muatan yang mempunyai perbedaan temperatur pada masing-masing kontak pengukuran (Bluestein, I: 1999). Efek *Seeback* dihasilkan dengan difusi elektron menyeberangi antar muka (*interface*) antara dua material. Potensial listrik dari material penerima elektron menjadi negatif pada daerah antar muka, sedangkan potensial listrik dari material penyedia elektron menjadi positif. Dengan cara ini medan listrik dihasilkan oleh aliran elektron yang menyeberangi antar muka. Bila medan listrik cukup untuk menyeimbangkan gaya difusi, menyebabkan suatu keadaan seimbang menyebabkan migrasi elektron terbentuk. Karena magnitudo dari gaya difusi dikontrol oleh temperatur pada persambungan termokopel, maka potensial listrik dihasilkan pada persambungan yang dapat menyediakan peng-

ukuran temperatur (Dally, J. W: 1993).

Tegangan termolistik yang dihasilkan dari perbedaan temperatur dari dua kawat secara aktual merupakan penjumlahan dari semua tegangan berbeda disepanjang kawat yang ditulis seperti :

$$V_o = \int_0^L S (dT / dx) dx \dots\dots\dots(1)$$

Disini S adalah koefisien *Seeback* dalam $\mu V/^{\circ}C$. Selama kawat termokopel dipertahankan homogen, perbedaan temperatur antara titik akhir menentukan jumlah bersih penjumlahan semua tegangan yang menyeberangi jarak tak terbatas dihasilkan dari gradien temperatur. Koefisien *Seeback* dari suatu material kawat tertentu adalah turunan pertama dari tegangan termolistik sebagai fungsi temperatur.

Jika diasumsikan koefisien *Seeback* dari kedua logam mendekati konstan, maka persamaan tegangan keluaran sensor dapat disederhanakan menjadi:

$$V_o = (S_A - S_B) (T - T_R) \dots\dots\dots(2)$$

Dari persamaan 2, dapat dikemukakan bahwa tegangan keluaran sensor tidak tergantung pada temperatur dari titik hubungan. Dengan mempertahankan referensi konstan, maka tegangan keluaran tergantung pada temperatur pada persambungan pengukuran (Gopel, W: 1989).

Tegangan keluaran dari sensor termokopel masih kecil dan mengambang sehingga perlu diolah untuk mendapatkan sinyal yang sesuai. Beberapa rangkaian antar muka elektronika yang diperlukan untuk mengolah tegangan keluaran sensor adalah rangkaian penguat differensial, penguat tak membalik, ADC, mikrokontroler, dan komparator dengan relay. Level temperatur yang dikontrol oleh sistem ditampilkan pada display seven segment.

Tegangan keluaran analog dari penguat diferensial dihubungkan pada masukan rangkaian konverter analog ke digital (ADC) yang akan mengkonversi sinyal input analog ke dalam suatu bilangan deskrit dari tahap yang mudah dihitung dan dipresentasikan dalam bentuk desimal pada suatu display numerik. Salah satu IC aktual yang dapat digunakan untuk merealisasikan ADC dengan metoda pendekatan berurutan (*successive-approximation*) untuk mengkonversi suatu input analog ke suatu kode biner 8 bit ADC 0804. Konverter dengan metoda berurutan merupakan satu dari tipe yang

digunakan secara luas dari ADC. Konverter ini mempunyai rangkaian yang lebih komplek, tetapi konversi waktu lebih pendek, dan mempunyai nilai tertentu dari konversi waktu yang tidak tergantung pada nilai dari input analog (Tocci, R.J: 1995). Beberapa karakteristik dari ADC0804 antara lain: kompatibel dengan hampir semua mikroprosesor, input diferensial, output tiga keadaan, level logika TTL, dapat digunakan dengan clock internal atau eksternal, range input analog 0 V sampai V_{CC} , catu daya tunggal 5 Volt, dan spesifikasi terjamin dengan clock 1 MHz (Philips Semikonduktor: 2002).

Keluaran digital ADC0804 selanjutnya diproses oleh mikrokontroler. Mikrokontroler merupakan kombinasi dari CPU dengan memori dan I/O dilakukan dalam sebuah chip yang disebut dengan *single chip microcomputer* (SCM). Salah satu jenis mikrokontroler yang populer saat ini adalah keluarga MCS-51 dengan seri AT89C51. Mikrokontroler AT89C51 merupakan mikrokomputer CMOS 8-bit dengan 4 Kbytes Flash PEROM (*Programmable and Erasable Read Only Memory*) yang memiliki daya rendah dan kinerja tinggi. Piranti ini dihasilkan menggunakan teknologi memori nonvolatile densitas tinggi Atmel dan kompatibel dengan industri standar MCS-51. Dengan kombinasi CPU serbaguna 8-bit dengan flash pada suatu chip monolitik, mak Atmel AT89C51 merupakan suatu mikrokomputer yang kuat dengan menyediakan fleksibilitas tinggi dan solusi harga efektif untuk beberapa aplikasi pengontrolan tersimpan (*embedded control*). Beberapa sifat dari AT89C51 yaitu: kompatibel dengan produk MCS-51, 4 Kbyte flash memori yang dapat diprogram ulang, dapat beroperasi secara penuh dari 0 Hz sampai 24 Mhz, tiga level *program memory lock*, RAM internal 128x 8-bits, 32 line program I/O, dua timer/counter 16-bit, enam sumber interupsi, chanel serial program, dan daya rendah (Atmel).

Dengan dasar ini peneliti merasa tertarik untuk mengembangkan sistem pengontrolan temperatur menggunakan sensor termokopel berbasis mikrokontroler dan menyelidiki hubungan antara variabel dan karakteristik statiknya. Sebagai perumusan masalah dalam penelitian ini yaitu “Bagaimana hubungan antara tegangan keluaran sensor, tegangan keluaran rangkaian pengolah sinyal, dan angka yang ditampilkan display dengan temperatur serta bagaimana karakteristik statik dari sistem pengontrolan temperatur menggunakan sensor

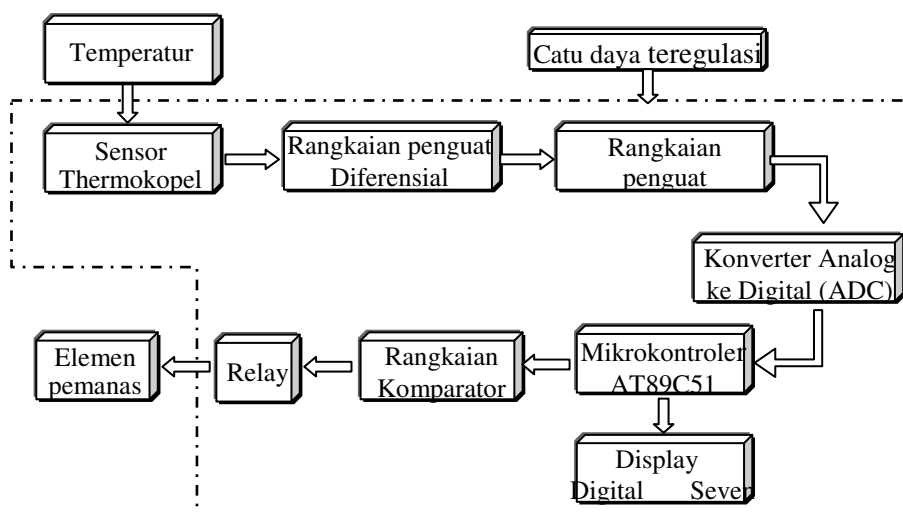
termokopel berbasis mikrokontroler AT89C51?

Secara umum tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan membuat sistem pengontrolan temperatur dalam range lebar dengan sensor termokopel berbasis mikrokontroler. Secara khusus tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah: 1). Menyelidiki hubungan tegangan keluaran sensor termokopel dengan temperatur dan menentukan sensitivitas sensor, 2). Menyelidiki hubungan tegangan keluaran rangkaian pengolahan sinyal yang terdapat pada sistem pengontrolan dengan temperatur, 3). Menentukan angka yang ditampilkan pada display seven segment sebagai fungsi dari temperatur sebelum dan sesudah proses linearisasi, dan 4). Menentukan ketepatan dan ketelitian dari sistem pengontrolan temperatur dengan sensor termokopel dalam mengontrol suatu level temperatur.

METODE PENELITIAN

Untuk mengamati karakteristik sistem pengontrolan temperatur maka dalam penelitian ini akan dilakukan manipulasi variabel, pengukuran terhadap besaran fisika dan pengontrolan terhadap variabel yang lain. Sebagai variabel bebas adalah temperatur dan waktu yang nilainya dapat divariasikan, variabel terikat adalah tegangan keluaran sensor termokopel dan tegangan pada rangkaian dasar elektronika, sedangkan variabel kontrol adalah nilai dari tahanan, tegangan catu daya dan faktor penguatan dari transistor. Karena itu penelitian ini termasuk pada penelitian eksperimen.

Sistem kontrol temperatur ini secara umum terdiri dari sensor temperatur termokopel; rangkaian pengolahan sinyal yaitu penguat diferensial, penguat tak membalik, ADC, mikrokontroler, rangkaian komparator dengan relay; dan display seven segment. Komponen aktif pada rangkaian elektronika dioperasikan oleh catu daya teregulasi. Blok diagram sistem pengontrolan temperatur terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem Pengontrolan Temperatur

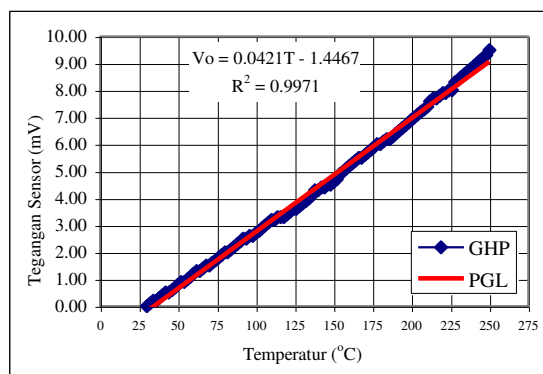
Teknik pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini adalah pengukuran langsung. Variabel yang diukur secara langsung adalah temperatur, tegangan keluaran sensor dan tegangan keluaran penguat. Pengambilan data dilakukan dengan memanaskan sensor termokopel dengan alat pemanas yang dapat diatur sedemikian rupa sehingga kenaikan temperatur relatif konstan, kemudian data tegangan keluaran sensor dan blok rangkaian dicatat untuk setiap kenaikan temperatur. Variabel yang diukur secara tidak langsung dalam penelitian ini adalah kemiringan garis lurus dari hubungan antara perubahan tegangan keluaran sensor dengan perubahan temperatur. Kemiringan dari garis lurus ini akan memberikan informasi tentang sensitivitas dari sensor termokopel.

Data yang didapat dari hasil pengukuran dianalisis secara grafik dan analisis kesalahan. Bentuk grafik digunakan untuk menggambarkan hubungan antara variabel, atau pengaruh suatu variabel terhadap variabel lain. Melalui grafik dapat diketahui hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat, bentuk pendekatan persamaan, variansi dan standar deviasi. Untuk pendekatan garis hubungan antara dua variabel linear maka dapat ditentukan nilai awal dan kemiringan dari garis lurus. Disisi lain kesalahan pengukuran, ketepatan, dan ketelitian dari hasil pengukuran ditentukan melalui analisis kesalahan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan memvariasikan temperatur dilakukan pengukuran terhadap tegangan keluaran

sensor termokopel. Dari data yang diperoleh diplot grafik hubungan antara tegangan keluaran sensor dengan temperatur seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan Tegangan Keluaran Sensor dengan Temperatur.

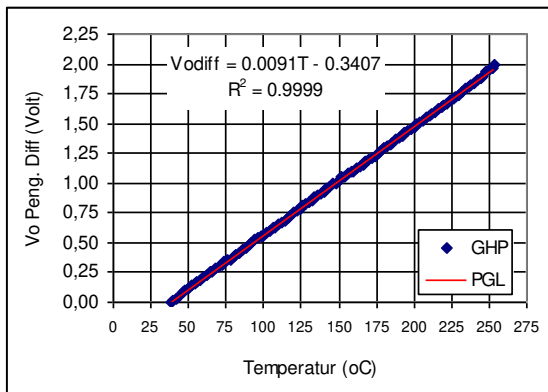
Dari gambar terlihat tegangan keluaran sensor termokopel naik secara linear dengan kenaikan temperatur. Melalui pendekatan garis lurus diperoleh persamaan tegangan keluaran sensor termokopel sebagai fungsi temperatur seperti pada persamaan 3

$$V_o = 0,0421T - 1.4467 \dots\dots\dots (3)$$

Angka 0,0421 menyatakan kemiringan garis lurus yang tidak lain merupakan sensitivitas sensor termokopel yang digunakan. Koefisien determinasi atau koefisien penentu dari hubungan tegangan keluaran sensor dengan temperatur adalah 0,9971. Ini berarti derajat hubungan antara tegangan keluaran sensor dengan temperatur adalah 99,71 %. Koefisien korelasi dari hubungan kedua variabel diperoleh 0,9985 yang dapat dikategorikan tinggi.

Pengukuran tegangan keluaran penguat

diferensial dilakukan dengan menaikkan temperatur setiap 5°C. Berdasarkan data yang diperoleh diplot grafik seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan Tegangan Keluaran Penguat Diferensial dengan Temperatur.

Tegangan keluaran penguat diferensial akan naik sesuai dengan kenaikan temperatur. Melalui pendekatan garis lurus didapatkan persamaan untuk tegangan penguat diferensial sebagai fungsi dari temperatur dalam bentuk

$$V_{odiff} = 0,0091T - 0,3407 \dots\dots\dots(4)$$

Angka 0,0091 pada persamaan menyatakan kemiringan dari garis lurus. Dalam hubungan tegangan keluaran penguat diferensial dengan temperatur diperoleh koefisien determinasi 0,9999. Ini menunjukkan derajat hubungan antara tegangan keluaran penguat diferensial dengan temperatur adalah 99,99 %. Koefisien korelasi dari hubungan kedua variabel dapat dikategorikan tinggi yaitu 0,9999.

Melalui cara yang sama dengan penguat diferensial, tegangan keluaran penguat tak membalik diukur untuk setiap perubahan temperatur 2 °C. Dari data hasil pengukuran tegangan keluaran penguat tak membalik dengan temperatur diplot hubungan antara kedua variabel. Hasil plot data ditampilkan pada Gambar 4.

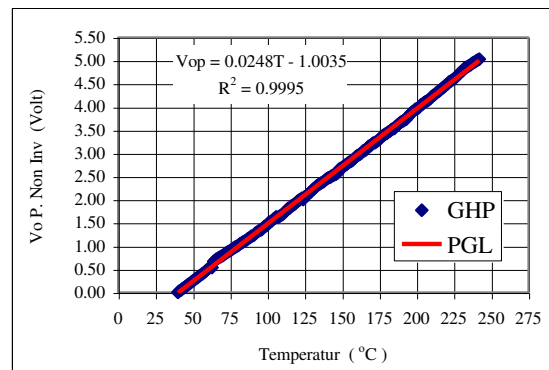
Terlihat pada Gambar 4 bahwa tegangan keluaran dari penguat tak membalik juga naik secara linear dengan kenaikan temperatur. Melalui pendekatan garis lurus dapat diekspresikan hubungan tegangan keluaran penguat tak membalik dengan temperatur seperti seperti pada persamaan 5

$$V_{ON} = 0,0248 T - 1,0035 \dots\dots\dots(5)$$

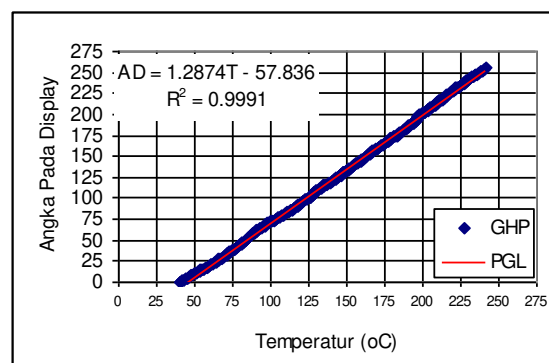
Dalam persamaan 5 diperoleh angka 0,0248 yang menyatakan kemiringan dari garis lurus. Koefisien determinasi dari hubungan tegangan

keluaran penguat tak membalik dengan temperatur adalah 0,9995. Hal ini berarti derajat hubungan antara tegangan keluaran penguat tak membalik dengan temperatur adalah 99,95 %. Koefisien korelasi dari hubungan kedua variabel didapatkan 0,9997 yang dapat dikategorikan tinggi.

Tegangan keluaran analog dari penguat tak membalik dikonversi kedalam bentuk digital menggunakan ADC0804, tegangan keluaran ADC diproses melalui mikrokontroler dan hasilnya ditampilkan melalui seven segment. Dengan memvariasi temperatur setiap 1 °C dilakukan pengamatan terhadap angka yang ditampilkan pada seven segment. Hasil plot data antara angka tampilan seven segment dengan temperatur sebelum proses linearisasi dapat diperhatikan pada Gambar 5.



Gambar 4. Hubungan Tegangan Keluaran Penguat tak Membalik dengan Temperatur



Gambar 5. Hubungan Angka Tampilan Seven Segmen dengan Temperatur Sebelum Proses Linierisasi

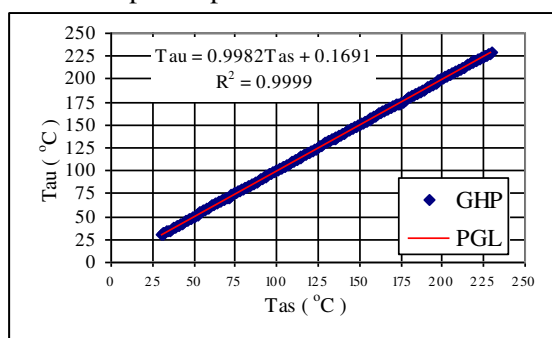
Berdasarkan Gambar 5, dapat dikemukakan bahwa angka yang ditampilkan pada display seven segment sebelum proses linearisasi akan bertambah secara linear dengan kenaikan temperatur. Dengan menggunakan pendekatan garis lurus didapatkan hubungan angka

tampilan pada display dengan temperatur dalam bentuk:

$$AD = 1,2885 T - 52,252 \dots\dots\dots(6)$$

Angka 1,2885 dalam persamaan menyatakan kemiringan dari garis lurus. Koefisien determinasi dari hubungan angka tampilan pada display dengan temperatur adalah 0,9996. Hal ini berarti derajat hubungan antara angka tampilan pada display sebelum linearisasi dengan temperatur adalah 99,96 %. Koefisien korelasi dari hubungan kedua variabel didapatkan 0,9997 yang dapat dikategorikan tinggi.

Untuk menampilkan nilai temperatur hasil pengukuran pada display digital perlu dilakukan proses linearisasi. Setelah dilakukan linearisasi pada mikrokontroler dilakukan pengamatan dan pencacatan angka yang ditampilkan pada display digital dengan cara memvariasikan temperatur. Hubungan antara angka yang ditampilkan pada display digital dengan temperatur ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hubungan Angka Tampilan Seven Segmen dengan Temperatur Setelah Proses Linierisasi.

Gambar 6 menunjukkan bahwa angka yang ditampilkan pada display seven segmen setelah proses linearisasi akan naik secara linear dengan kenaikan temperatur yang terukur oleh termometer standar. Melalui pendekatan garis lurus didapatkan hubungan antara temperatur yang terbaca oleh sistem pengontrolan yang dibuat dengan termometer standar dalam bentuk :

$$T_{AU} = 0,9982 T_{AS} + 0,1691 \dots\dots\dots(7)$$

Pada persamaan 7 angka 0,9982 menyatakan kemiringan dari garis lurus dengan nilai mendekati satu. Hal ini menunjukkan angka yang terbaca pada sistem pengontrolan mendekati sama dengan temperatur yang terbaca pada termometer standar. Temperatur yang terbaca pada sistem pengontrolan pada saat termometer standar menunjukkan angka nol adalah 0,1691. Persentase simpangan rata-rata

antara hasil pengukuran temperatur antara sistem pengontrolan temperatur dengan termometer standar cukup kecil yaitu 0,26 %. Ini menunjukkan temperatur yang terbaca pada display sistem pengontrolan tepat. Koefisien determinasi dari hubungan temperatur yang terukur oleh sistem pengontrolan dengan termometer standar adalah 0,9999, berarti derajat hubungan pembacaan temperatur antara kedua peralatan tersebut adalah 99,99 %.

Ketepatan sistem untuk mengontrol suatu level temperatur ditentukan dengan membandingkan kesesuaian temperatur yang dikontrol oleh sistem dengan temperatur yang terbaca oleh alat standar pada saat itu. Sistem pengontrolan temperatur ini dirancang lima selektor level temperatur yaitu 50, 75, 100, 150 dan 200°C. Hasil pengontrolan temperatur untuk lima sampel level temperatur ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Ketepatan Sistem Pengontrolan

No	T Desain	T _{as}	T _{au}	Kesalahan	Ketepatan
1	50	50	50	0.0000	1.0000
2	75	75	75	0.0000	1.0000
3	100	100	100	0.0000	1.0000
4	150	149	150	0.0067	0.9933
5	200	202	200	0.0099	0.9901
Rata-Rata				0.0033	0.9967

Untuk lima sampel level pengontrolan temperatur diperoleh kesalahan berkisar antara 0,000 sampai 0,0099. Ketepatan dari sistem pengontrolan didapatkan berkisar antara 0,9901 sampai 1,0000. Ketepatan rata-rata dari kelima sampel pengukuran adalah 0,9967 dengan persentase ketepatan rata-rata adalah 99,67 %. Berarti ketepatan sistem pengontrolan temperatur termasuk tinggi untuk orde nst 1 °C.

Ketelitian pengontrolan level temperatur oleh sistem ditentukan melalui pengukuran berulang terhadap suatu level temperatur. Dari analisis data diperoleh ketelitian rata-rata untuk setiap level pengontrolan temperatur berkisar dari 0,995 sampai 0,998. Ketelitian rata-rata untuk lima level pengontrolan temperatur adalah 0,997. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa ketelitian dari sistem pengontrolan temperatur termasuk kepada kategori tinggi.

Dari hasil analisis data yang telah dilakukan, secara umum dapat dikemukakan bahwa hasil penelitian telah sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan. Pertama, tegangan keluaran

sensor dan rangkaian dasar elektronika yang terdapat pada sistem pengontrolan temperatur telah sesuai dengan analisis teori yang ditandai dengan bentuk hubungan antara besaran, gradien, nilai awal, persentase simpangan, dan nilai koefisien korelasi yang dihasilkan. Kedua, hasil pengukuran temperatur oleh sistem telah sesuai dengan hasil termometer standar yang ditandai dengan kecilnya persentase simpangan antara bacaan kedua alat ukur. Namun satu masalah utama yang masih ditemukan dari hasil penelitian ini yaitu nilai skala terkecil (NST) masih 1°C yang berarti kesalahan pada pengukuran tunggal adalah $0,5^{\circ}\text{C}$. Hal ini disebabkan karena keterbatasan mikrokontroler yang digunakan dalam penelitian ini. Untuk mikrokontroler 8 bit pengolahan data maksimum hanya 256. Dengan demikian untuk menghasilkan NST yang lebih kecil masih perlu dilakukan pengembangan terhadap sistem ini.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan dapat dikemukakan beberapa kesimpulan dari penelitian sebagai berikut :

1. Tegangan keluaran dari sensor termokopel naik secara linear dengan kenaikan temperatur dengan sensitivitas $0,042 \text{ Volt}/^{\circ}\text{C}$.
2. Tegangan keluaran dari rangkaian penguat diferensial dan penguat tak membalik sebagai rangkaian pengolah sinyal bertambah secara linear dengan kenaikan temperatur dengan kemiringan $0,0091 \text{ Volt}/^{\circ}\text{C}$ dan $0,0248 \text{ Volt}/^{\circ}\text{C}$.
3. Angka yang ditampilkan pada display seven segment sebelum proses linearisasi sebanding dengan kenaikan temperatur tetapi belum sesuai dengan temperatur yang diukur oleh termometer standar, dan setelah proses linearisasi dalam program mikrokontroler angka temperatur yang terbaca pada display telah sesuai dengan angka pada termometer standar dengan persentase simpangan yang kecil.
4. Ketepatan dan ketelitian rata-rata sistem pengontrolan temperatur dengan sensor termokopel berbasis mikrokontroler termasuk tinggi masing-masing $0,9967$ dan $0,997$ untuk nilai skala terkecil 1°C .

Bertitik tolak dari hasil dan pembahasan yang telah dilakukan dapat dikemukakan beberapa saran pada penelitian ini. Pertama, tegangan keluaran dari sensor termokopel untuk

temperatur dibawah 30°C sangat kecil. Untuk pengukuran lebih teliti diperlukan Voltmeter dalam orde μVolt . Kedua, dalam penelitian ini pengolahan sinyal digital menggunakan mikrokontroler AT89C51 8 bit sehingga hanya mampu menampilkan jumlah cacahan maksimum 255. Akibatnya untuk NST 1°C kemampuan maksimum sistem pengontrolan hanya 255°C . Ketelitian sistem pengontrolan dapat ditingkatkan dengan memperkecil NST menggunakan mikrokontroler 12 bit atau rangkaian elektronik lainnya.

DAFTAR RUJUKAN

- _____, (2006), **Introduction to Temperature Controllers**, Omega Engineering Technical Reference
- Ball, S., (2002), **Temperature Measurement Technique**, Embedded System, TCP/IP
- Barr, M, (2002), **Introduction to Closed-Loop Control**, CPM Media, LLC.
- Bluestein, I, (1999), **Understanding Contact Temperature Sensors**, Sensors Online of Advanstar Communications Inc. SpecSearch.
- Carr, J. J, (1993), **Sensors and Circuits: Sensors, Transducers, and Supporting Circuits for Electronics Instrumentation, Measurement and Control**, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey
- Dally, J.W, (1993), **Instrumentation for Engineering Measurement**, John Wiley & Sons, INC, New York.
- Fraden, J, (1996), **Handbook of Modern Sensors Physics, Design, and Applications**, AIP Press, Springer.
- Gopel. W, J. Hesse, J.N. Zemel, (1989), **Sensors Fundamental and General Aspects**, Volume 1, VCH.
- Imam, M, (1995), **Pengantar Sistem Kendali Otomatis**, Depdikbud, Jakarta
- Philip, S., (1996), **Datasheet 1N4148 ; 1N4446 ; 1N4448 High - Speed Diodes**. Discrete Semiconductors, Philips Semiconductors.
- Tocci, R. J, (1995), **Digital Systems :**

Principles and Applications, Prentice Hall International Editions, United States of America.

Tompkins, W. J and J.G. Webster, (1992),
Interfacing Sensors to The IBM PC,
Prentice Hall, New York.